پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۹
ص ۶۳۹- ۶۲۱

مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (محور مورد مطالعه: محورهای کوهستانی البرز)

عباس رنجبر سعادت‌آبادی ـ دانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران
ابراهیم فتاحی ـ دانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران
پروانه عسگرزاده ـ دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تهران، تهران، ایران
مهناز کریم‌خانی* ـ دانشجوی دکتری هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸

چکیده
مشکلات ناشی از شرایط جوی در محورهای کوهستانی البرز، به‌ویژه در فصل زمستان، از موارد قابل مطالعه در زمینهٔ علوم هواشناسی است. بنابراین، قرارگیری موقعیت مناسب ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای از اهمیت بسزایی برخوردار است. بدین منظور، برای تعیین مکان مناسب ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای، معیار مخاطرات اقلیمی شامل بارش، یخبندان برای شاخص‌های زمان شروع و خاتمه و تعداد روزهای یخبندان، دما جهت بررسی دمای کمینه و بیشینه با مقدار کمتر از ۱۰- و بیشتر از ۳۵ درجهٔ سلسیوس، داده‌های ماهواره‌ای سطح پوشش برف، معیار ژئومورفولوژیکی شامل ریزش سنگ، نقاط زمین‌لغزش و گسل‌های فعال، معیار ترافیکی شامل نقاط پُرتصادف و شرایط محیطی معیار اقتصادی-امنیتی قرار می‌گیرد. سپس، با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و وزن‌دهی به هر یک از معیارها، نقشهٔ نهایی الویت‌بندی محور چالوس و هراز تهیه و ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای پیشنهاد داده می‌شود. نتایج نشان داد که پس از الویت‌بندی محورها از نظر نیاز به ایستگاه‌های جدید، با تحلیل Location-Allocation و بررسی فواصل بهینهٔ محورها از راهداری، جایگاه‌های سوخت، دوربین‌های نظارتی، و روستاهای اطراف محور، ایستگاه‌های نهایی در قطعات الویت‌دار محور چالوس در محدودهٔ کیاسر، مرزن‌آباد، خرگوش‌دره، و ولی‌آباد و در محور هراز در محدودهٔ پلور، مبارک‌آباد- آبعلی، راهداری حدفاصل رودهن- بومهن، و رینه هستند. با توجه به شرایط منطقهٔ معرفی‌شده، قابلیت تغییر ایستگاه‌ها در محدودهٔ ۱ تا ۵ کیلومتری نقطهٔ معرفی‌شده وجود دارد و هر ایستگاه هواشناسی منطقه‌ای درحدود ۳۰ کیلومتر را پوشش می‌دهد.

***واژگان کلیدی:** فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، محورهای کوهستانی البرز، مخاطرات اقلیمی، معیار ترافیکی، معیار ژئومورفولوژیکی.*

مقدمه
جاده‌ها جزئی از توسعهٔ تمدن و حامی فعالیت‌های اقتصادی و زیربنای زندگی جدیدند؛ اما متأسفانه در دههٔ اخیر به دلیل پایین‌بودن فرهنگ رانندگی، استانداردنبودن وسایل نقلیه و جاده‌های کشور، عوامل محیطی و افزایش حجم ترافیک که به دلیل نبود توازن بین ظرفیت جاده‌ها و رشد جمعیت شهری به‌وجود آمده، تعداد حوادث جاده‌ای به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است (باقدم و همکاران، ۱۳۸۴: ۲). همواره چهار عامل انسان، وسیلهٔ نقلیه، جاده، و عوامل محیطی در بروز تصادفات دخالت دارند که در این میان عوامل محیطی، اقلیمی، و آب و هوایی که به دلیل شرایط خاص جغرافیایی ایران و کوهستانی‌بودن آن حادث می‌شود در کنار سایر عوامل نقش بسزایی در بروز تصادفات بازی می‌کند (باقدم و همکاران،

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۳۰۱۸۸۹۶
Email: mahnaz_karimkhany@yahoo.com

۱۳۸۴: ۲). وظایف عمدۀ هواشناسی جاده‌ای شامل تهیۀ مداوم آمار و اطلاعات، تغییرات و تکامل عناصر هواشناسی در حوزۀ جاده‌های تحت پوشش ایستگاه مربوطه، صدور پیش‌بینی‌های خاص هواشناسی در طول مسیر در رابطه با وقوع پدیده‌های مخرب، انتشار اعلامیه و اخطاریه‌ها در هنگام وقوع پدیده‌های خطرناک جوی در مسیر حرکت، شدت باد بر روی پل‌ها و پدیده‌های مختلفی که در کم‌شدن دید مؤثر می‌باشند، حمل و نقل زمینی و ریلی از موارد حائز اهمیت در سطح ملی است. اطلاعات مورد نیاز در این خصوص شامل استفاده از پیش‌بینی‌های جوی در دوره‌های زمانی مختلف و اعلام اخطاریه‌های مرتبط در جاده‌ها در هنگام وقوع پدیده‌های هواشناسی از یک سو و تهیۀ اطلاعات درخصوص مقادیر و ویژگی‌های عناصر و پدیده‌های هواشناسی در دوره‌های زمانی مختلف از سوی دیگر است. نامساعدبودن جوی می‌تواند با ایجاد آسیب به زیرساخت‌های ریلی، جاده‌ای، و ترافیک عبور و مرور را از گردش بازدارد و خطرهای جانی و مالی نیز برای مسافران و آن‌هایی که به هر نحوی از جاده‌های ارتباطی کشور استفاده می‌کنند به‌وجود آورد.

یکی از اولین مطالعاتی که در خصوص بررسی پدیده‌های اقلیمی مؤثر در بروز تصادفات در کشور صورت پذیرفته تحقیقاتی است که علیجانی و حبیبی نوخندان (۱۳۷۸) در محور هراز انجام داده‌اند. در این مطالعه با بررسی فراوانی تصادفات در پدیده‌های مختلف اقلیمی مشخص شد که در ماه مارس (اسفندماه) ۲۳۷ مورد معادل ۲۶ درصد، ماه دسامبر (آذرماه) با ۲۰۶ مورد معادل ۲۲ درصد، و ماه ژانویه (دی‌ماه) با ۱۷۰ مورد تصادف معادل ۱۸ درصد از مجموع ۹۳۱ مورد تصادف، با پدیدۀ غالب یخبندان و ریزش برف همراه بوده‌اند و مابقی تصادفات با فراوانی کمتر در ارتباط با دیگر پدیده‌های اقلیمی بودند. در تحقیقی مشابه، که توسط حبیبی نوخندان (۱۳۷۸) در محور هراز صورت پذیرفت، ارتباط بین پدیده‌های اقلیمی (یخبندان، ریزش برف و باران و مه) و بروز تصادفات جاده‌ای در ماه‌های سرد سال بررسی شد. این مطالعه با ارائۀ راهکارهای اجرایی مناسب در جهت کاهش احتمال وقوع سوانح متأثر از پدیده‌های اقلیمی پایان یافت. در تحقیقی که توسط جعفربیگلو و محمدی (۱۳۸۴) با استفاده از آمار و اطلاعات در یک دورۀ دوساله (۱۳۷۵–۱۳۷۶) صورت پذیرفت، بیشترین احتمال خطر تصادف در محور کرج- چالوس در هنگام ریزش باران در کیلومترهای ۱۲۶، ۱۳۴، و ۱۴۰ در هنگام پدیدۀ یخبندان در کیلومترهای ۵۴، ۶۰، و ۶۵، در هنگام ریزش برف در کیلومترهای ۶۰، ۷۰، و ۷۲، در هنگام پدیدۀ مه در کیلومترهای ۱۲۵، ۱۲۸، و ۱۳۰ و در هنگام سقوط بهمن در کیلومترهای ۵۶، ۶۴، ۶۸، و ۷۰ بیان شد. در رابطه با مطالعاتی که در خارج از کشور در زمینۀ بررسی چگونگی تأثیر پارامترهای آب و هوایی بر حمل و نقل جاده‌ای صورت پذیرفته است می‌توان به مطالعات گوستاسون و بوگرن (۱۹۹۰) اشاره کرد. آن‌ها نشان دادند که چگونه یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) توانایی مدل‌سازی شرایط اقلیمی حاکم بر جاده‌ها را دارد. پیرامون الگوهای همدیدی مؤثر بر لغزندگی جاده‌ای در جنوب سوئد بیان کردند که در ماه‌های سرد سال عبور جریان گرم نقش بسیار مؤثری در ایجاد شرایط لغزندگی دارد. استیم و همکاران (۱۹۹۳) نیز خطرپذیری سقوط بهمن در تعدادی از بزرگراه‌های امریکا را بررسی و با تعریف شاخص خطر بهمن (Avalanche hazard index) این بزرگراه‌ها را طبقه‌بندی کردند. شاخص خطر فوق تابعی از میانگین تعداد سقوط بهمن در جاده، میانگین تعداد مسیرهای بهمن به ازای هر کیلومتر جاده، و متوسط حجم ترافیک روزانه در زمستان است. در بسیاری از کشورهای جهان پروژه‌های متعددی نیز در رابطه با ایمنی حمل و نقل در حال اجراست، مثلِ سیستم‌های اطلاعات هواشناسی جاده‌ای RWIS[1] (الکسون، ۲۰۰۴)، سازمان هواشناسی دانمارک (پیترسون و ساس، ۲۰۰۵)، سیستم اطلاعات هواشناسی جاده‌ای سوئد (گوستاسون و بوگرن، ۲۰۰۶)، پروژۀ

1. Road Weather Information System

Coldspot در جاده‌های فنلاند (ساریکیوی و همکاران، ۲۰۰۶)، و پهنه‌بندی مخاطرات محیطی و آب و هوایی توسط سازمان سلامت جهانی (مرجانی و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین، نیاز به مطالعات جامع در خصوص شناسایی و پهنه‌بندی فاکتورهای مخاطره‌آمیز محیطی و آب و هوایی در شبکهٔ راه‌های جاده‌ای، که در بروز تصادفات جاده‌ای مؤثرند، بیش از گذشته احساس می‌شود. هر تحقیق علمی نیازمند استفاده از روش‌ها و ابزارهای خاصی در مراحل مختلف اجرای تحقیق است. از آنجا که سیستم اطلاعات جغرافیایی توان و قابلیت خوبی برای مدل‌سازی و شناخت مناطق مناسب دارد، به‌منظور شناسایی مکان بهینه از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شود. برای اجرای تجزیه و تحلیل‌ها در سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، باید عوامل مؤثر، معیارها، و محدودیت‌ها به‌صورت لایه‌های نقشه تهیه شود و پردازش و تحلیل شود؛ بدین منظور، پس از تهیهٔ لایه‌های مورد نیاز مانند راه‌های ارتباطی و شیب، از آنجا که هر کدام از لایه‌ها دارای ارزش و اهمیت متفاوتی در شناسایی مکان مناسب دارند، منطق فازی و روش تحلیل سلسله‌مراتبی AHP[1] قابل استفاده است. مطالعات گسترده‌ای برای شناسایی و اولویت‌بندی پارامترها از روش AHP استفاده کرده‌اند. از این میان معین‌الدینی و عبدی (۱۳۹۹) با استفاده از روش AHP به اولویت‌بندی المان‌های فرودگاه بین‌المللی امام‌خمینی (ره) جهت ارتقا به فرودگاه کلاس- جهانی پرداختند. کدخدایی و شاد (۱۳۹۸) اولویت‌بندی سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف سوخت در کلان‌شهرهای توریستی و مذهبی در شهر مشهد را با استفاده از روش AHP انجام دادند. سیاره و خسروانی (۱۳۹۸) با استفاده از روش AHP به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر جذب خطوط کشتیرانی منظم کانتینری در بندر شهید رجایی پرداختند. عباس‌پور مرزبالی و همکاران (۱۳۹۷) مقایسهٔ فنی و اقتصادی روسازی بتن غلتکی با روسازی آسفالتی و اولویت‌بندی پارامترهای مؤثر با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی را انجام دادند. لشنی‌زاد و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از روش AHP مکان‌یابی ایستگاه‌های همدیدی در خرم‌آباد را انجام دادند. حیدری و همکاران (۱۳۹۵) مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی شهری در کلان‌شهر مشهد را انجام دادند. همچنین، افندی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) به شناسایی مکان‌های پُرتصادف جاده‌ای با استفاده از روش تلفیقی تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل سلسله پرداختند. استولسمن (۲۰۱۶) از روش AHP برای جانمایی مزرعه بادی استفاده کرد.

در این راستا، پژوهش حاضر براساس روش توصیفی- تحلیلی و با تأکید بر جنبهٔ کاربردی آن سعی دارد، با استفاده از تجربیات کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه و تطبیق آن با واقعیت‌های موجود، به جانمایی ایستگاه‌های هواشناسی محورهای کوهستانی البرز (چالوس و هراز) مبادرت ورزد. دست‌یابی به هدف یادشده با بهره‌گیری از پرسش‌نامه، روش نمونه‌گیری مورگان، نظرسنجی، بومی‌سازی معیارها و شاخص‌های مکان‌یابی درنظرگرفته برای دست‌یابی به نتیجهٔ متناسب با واقعیت در محور چالوس و هراز انجام شد.

مواد و روش‌ها

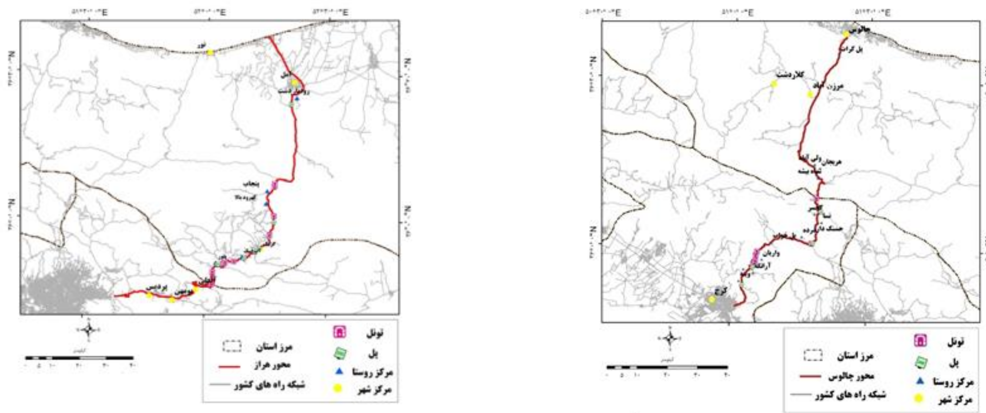
منطقهٔ مورد مطالعه

پژوهش حاضر در محورهای کوهستانی البرز (محور چالوس و محور هراز) انجام می‌شود. محور کرج- چالوس به طول تقریبی ۱۵۰ کیلومتر استان تهران را از طریق ارتفاعات البرز به استان مازندران مرتبط می‌سازد. نیمهٔ جنوبی این محور از کرج تا تونل کندوان در استان تهران و نیمهٔ دوم محور از تونل کندوان تا چالوس در استان مازندران واقع شده است (شکل ۱ـ الف). کوتاه‌ترین مسیر ارتباطی بین دو شهر تهران و آمل محور تهران- آمل (هراز) به طول تقریبی ۱۸۰

1. Analytical Hierarchy Process (AHP)

کیلومتر است که دو استان تهران را به استان مازندران مرتبط می‌سازد. این محور از حد فاصل دو شهر بومهن و رودهن از جادهٔ دماوند به فیروزکوه منشعب می‌شود و پس از عبور از گردنهٔ امامزاده هاشم، پلور، آب اسک، رینه، و لاریجان، درنهایت، به شهر آمل متصل می‌گردد (شکل ۱ـ ب).

الف) ب)



شکل ۱. منطقهٔ مورد مطالعه: الف) محور چالوس؛ ب) محور هراز

روش کار

معیارهای مورد نظر برای بررسی مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای را می‌توان به گروه‌هایی همچون مخاطرات اقلیمی (بارش بیشتر از ۳۰ میلی‌متر، متوسط روزهای یخبندان، ریزش بهمن، فراوانی سطح پوشش برف، فراوانی دمای کمینه و بیشینه به صورت ۱۰− و ۳۰ درجهٔ سلسیوس و مه) (کلیهٔ اعداد و ارقام قیدشده برای بارش و دمای کمینه و بیشینه قراردادی و طبق نظر کارشناسی ارائه شده است)، ژئومورفولوژیکی (ریزش سنگ، نقاط زمین‌لغزش، و گسل‌های فعال منطقه)، ترافیکی (نقاط پُرتصادف و معیار محیطی)، هیدرولوژیکی (سیلاب‌ها، بارش‌های رگباری، فرسایش، و ...) و اقتصادی (نزدیکی به راهداری، جایگاه سوخت ...) طبقه‌بندی و مطالعه کرد. شیوهٔ جمع‌آوری اطلاعات بر مبنای مطالعات اسنادی، کتابخانه‌ای، میدانی و شیوهٔ مطالعهٔ تطبیقی و براساس تجارب کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته تدوین یافته است. جامعهٔ آماری این پژوهش به دو گروه تقسیم می‌شود: گروه اول با توجه به ماهیت تحقیق و استفاده از آرای متخصصان، کارشناسان، و نخبگان برای انجام‌دادن تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و گروه دوم نیز شامل راهدارخانه‌ها و رانندگان خودروهاست. برای شناسایی مکان‌های بهینه برای ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای از روش‌ها و مدل‌های تلفیقی AHP و Fuzzy Logic در تلفیق با GIS استفاده شده است. پس از استانداردسازی در روش AHP بر اساس روش مقایسهٔ زوجی (دودویی) و در منطق فازی بر اساس توابع و الگوریتم‌های کاربردی آن، درجهٔ عضویت و اهمیت هر کدام از معیارها بر اساس نظر متخصصان در مقیاس مشخصی بین صفر و یک و کسری از یک قرار می‌گیرد. درنهایت، با استفاده از ابزارهای تحلیلی در محیط ARCGIS، مکان‌های بهینه و مناسب برای ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای در محورهای کوهستانی البرز تعیین می‌شوند.

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

تحلیل سلسله‌مراتبی روشی است منعطف، قوی، و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری

متضاد انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد از آن استفاده می‌شود. این روش ارزیابی چندمعیاری، ابتدا در سال ۱۳۲۰ پیشنهاد شد و تا کنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است (زبردست، ۱۳۸۰). وقتی که چند یا چندین شاخص برای ارزیابی درنظر گرفته می‌شود کار ارزیابی پیچیده می‌شود و پیچیدگی کار زمانی بالا می‌گیرد که معیارهای چند یا چندگانه با هم در تضاد و از جنس‌های مختلف باشند؛ در این هنگام، کار ارزیابی و مقایسه از حالت سادهٔ تحلیلی که ذهن قادر به انجام آن است خارج می‌شود و به یک ابزار تحلیل قوی نیاز خواهد بود. یکی از ابزارها برای چنین وضعیت‌هایی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است (زیاری، ۱۳۸۸: ۹۴).

برای مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای مراحل زیر انجام می‌شود:

الف) جمع‌آوری اطلاعات مکانی: جمع‌آوری اطلاعات میدانی راهداران و پلیس راه، جمع‌آوری داده‌های مرتبط با حجم ترافیک، شناسایی ایستگاه‌های همدیدی و ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای، جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز و قابل دسترس از ایستگاه‌های همدیدی و ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای با مقیاس‌های ساعتی، روزانه، ماهانه، و سالانه (شامل داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای از قبیل دما، بارش، و پدیده‌های یخبندان و برف)، جمع‌آوری اطلاعات تصادفات، تهیهٔ نقشهٔ مدل رقومی ارتفاعی DEM، و پهنه‌بندی متغیرها براساس روش Spline With Barriers در محیط GIS (با توجه به اینکه اغلب داده‌ها از جنس فراوانی‌اند، دقت روش درون‌یابی مجذور عکس فاصله و نیز کریجینگ کمتر از روش Spline with Barriers است (بهیار و پیشداد، ۱۳۹۵).

ب) مطالعه و بررسی اقلیمی محور چالوس: شامل بررسی و تحلیل داده‌های بارش برای بررسی شدت بارش بیشتر از ۳۰ میلی‌متر، داده‌های یخبندان برای شاخص‌های زمان شروع و خاتمهٔ یخبندان و تعداد روزهای یخبندان، داده‌های دما جهت بررسی دمای کمینه و بیشینه با مقدار کمتر از ۱۰- و بیشتر از ۳۵ درجهٔ سلسیوس، داده‌های ماهواره‌ای سطح پوشش برف، دمای سطح زمین و رقوم ارتفاعی زمین، داده‌های سنجندهٔ SEVERI از ماهوارهٔ MSG برای شناسایی مناطق مه‌گیر و گرد و غبار، استفاده از تصاویر اپتیکال برای تعیین سطح پوشش برف و دمای سطح برف و شناسایی پیکسل‌های برفی بر اساس الگوریتم SNOWMAP.

الگوریتم SNOWMAP

الگوریتم نقشهٔ برف MODIS معروف به SNOWMAP الگوریتمی از نوع تصمیم‌مبنا با استفاده از آزمون‌های گروهی حد آستانه‌ای است که در سال ۱۹۹۸ ارائه شده است و برای شناسایی برف در تصاویر استفاده می‌شود. این الگوریتم از لحاظ محاسباتی دارای حجم بسیار کم است و از لحاظ مفهومی کاملاً ساده است و از این رو درک این مطلب که محصول چگونه تولید شده است برای کاربر آسان است و از طرفی هم این الگوریتم کارایی مناسبی دارد و در سطح جهانی از آن استفاده می‌شود (هال و همکاران، ۱۹۹۸). به‌طور کلی، خصوصیات این الگوریتم عبارت‌اند از:

۱- دقت این روش برای انواع مختلف سطوح پوشیده از برف در مقایسه با دیگر روش‌های تعیین سطح برف مانند طبقه‌بندی نظارت‌شده و طبقه‌بندی نظارت‌نشده و روش‌های Sup Pixel بالاتر است (داداشی، ۲۰۰۸).

۲- این روش الگوریتمی کاملاً اتوماتیک است.

۳- این الگوریتم قابل استفاده برای همهٔ مناطق است و در سطح جهانی اجراشدنی است.

۴- این روش ساده و گویاست و بنابراین تفهیم آن برای کاربران راحت است.

در الگوریتم Snow Map از شاخص تفاضلی نرمال‌شده (NDSI) استفاده می‌شود. به دلیل انعکاس پایین برف در باندهای مادون قرمز و انعکاس بالا در باندهای مرئی، این شاخص می‌تواند در تشخیص پوشش برف از دیگر پدیده‌ها بسیار مفید باشد. شاخص NDSI براساس رابطهٔ زیر تعریف می‌شود (هال، ۱۹۹۸):

$$NDSI = (band\,4 - band\,6) / (band\,4 + band\,6)$$

ج) مطالعه و بررسی معیار ژئومورفولوژیکی شامل ریزش سنگ، نقاط زمین‌لغزش، و گسل‌های فعال منطقه

د) بررسی و تحلیل معیار ترافیکی شامل نقاط پُرتصادف و معیار محیطی

ه) مطالعهٔ معیار اقتصادی- امنیتی شامل نزدیکی به راهداری، جایگاه‌های سوخت، دوربین‌های نظارتی، روستاهای اطراف و مجتمع‌های بین راهی جهت دسترسی کارشناسان به ایستگاه‌ها

و) اجرای روش AHP براساس تعیین ماتریس مقایسهٔ زوجی بین متغیرها، وزن‌دهی به هر یک از معیارهای مورد بررسی.

وزن نهایی در محور چالوس و هراز براساس رابطهٔ ۱ و ۲ انجام می‌شود (استولتمن، ۲۰۱۶):

$$Road_{AHP} = \sum_{i=1}^{n} w_i * b_i \qquad (۱)$$

در رابطهٔ ۱ w_i میزان وزن معیار و b_i معیار مورد نظر است. در این مطالعه معیارهـای مـورد نظـر در رابطـهٔ ۲ بـه شـکل ریاضی نمایش داده شده است.

$$Road_{AHP} = 0.535*(Climate) + 0.252*(Traffic) + 0.171*(Environment) + 0.042(Geomorphology \qquad (۲)$$

در رابطهٔ ۲، Climate، Traffic، Environment، و Geomorphology به ترتیب وزن‌های استخراجی زیرمعیارهای اقلیمی، ترافیکی، محیطی، و ژئومورفولوژی است.

ز) تهیهٔ نقشهٔ نهایی الویت‌بندی محور چالوس و هراز با توجه به وزن نهایی استخراجی

ط) ایستگاه‌های پیشنهادی در محورهای کوهستانی البرز براساس تحلیل مکان تخصیص امکانات.[۱]

تحلیل مکان تخصیص امکانات

بخشی از مکان‌یابی به بررسی هزینه و اقتصادی‌بودن مکان‌یابی تخصیص می‌یابد. قضاوت کارشناسان محلی نیز در انتخاب نهایی بسیار مؤثر است. در برخی مطالعات تحلیل تناسب مکان انتخابی، با توجه به هدف، به جهت ملاحظات اقتصادی مکان مورد نظر ایده‌آل نادیده گرفته می‌شود تا سایر نیازهای مورد نظر هدف را نیز بتوان پوشش داد. به همین جهت، بررسی امنیت، نگهداری، و دسترسی کارشناسان به ایستگاه‌ها معیارهای مهمی جهت کاهش هزینه‌ها می‌شود. مطالعات گسترده جهت تخصیص امکانات (Facility) به نقاط مورد نیاز (Demand) تحت تحلیل‌های Location-allocation[۲] انجام گرفته است. به طور کلی، دو مدل پیشنهادی جهت تخصیص امکانات در مطالعات شناخته شده است: مدل‌های گسسته و پیوسته. در مدل‌های گسسته، مکان و موقعیت امکانات ثابت و نقاط نیاز نیز ثابت است (داسکین، ۲۰۰۸)؛ اما در مدل پیوسته مکان نقاط امکانات تغییرپذیر است. در این پژوهش، از مدل‌های گسسته استفاده خواهد شد. به‌طور کلی، اگر نقاط پیشنهادی را نقاط نیاز و دسترسی به مجتمع‌های بین راهی، پمپ بنزین، دوربین‌های نظارتی،

1. Location-Allocation

۲. مکان- تخصیص امکانات

مساجد، و راهداری درنظر بگیریم، هدف از تعیین نقاط نیاز با کمینهٔ دسترسی به محدودهٔ امکانات است. درواقع، با بررسی فواصل بین نقاط نیاز و امکانات سعی در کمینه‌سازی نقاط امکانات و بیشینه‌سازی پوشش ایستگاه‌های پیشنهادی توسط این نقاط داریم. پس از این مرحله نقاط پیشنهادی برای هر محور به تفکیک ارائه می‌شود.

در مطالعهٔ حاضر، تحلیل‌هایی برای محور چالوس به‌طور کامل ارائه شده است و برای محور هراز فقط نتایج ارائه می‌شود.

یافته‌های پژوهش

محور چالوس

مخاطرات اقلیمی

مخاطرات اقلیمی که در برنامه‌ریزی، طراحی، و نگهداری جاده‌ها بیشترین توجه به آن‌ها می‌شود شامل ریزش برف، باران، مه، یخبندان، دما، و سقوط بهمن است. با توجه به ویژگی محور کرج– چالوس، که محدوده‌ای مابین نواحی کوهپایه‌ای نیمه‌خشک، مرتفع و کوهستانی البرز و سواحل کم‌ارتفاع دریای خزر قرار دارد، می‌توان این محور را در سه بخش مجزا مطالعه کرد. آمار و اطلاعات ایستگاه‌هایی که در این بخش‌ها قرار گرفته‌اند به نحو مطلوبی گویای شرایط اقلیمی هر یک از نواحی ذکرشده‌اند (برنا و واحدپور، ۱۳۹۰). سه ایستگاه هواشناسی کرج (از کرج تا کیلومتر ۴۳)، سیاه‌بیشه (کیلومتر ۴۳ تا ۱۱۰)، و نوشهر (کیلومتر ۱۱۰ به بعد) منعکس‌کنندهٔ شرایط اقلیمی هر بخش‌اند.

مه

برای بررسی متوسط روزهای مه‌آلود در طول محور چالوس تا کیلومتر ۴۳، از آمار و اطلاعات کامل سی‌سالهٔ ایستگاه کرج، کیلومتر ۴۳ تا ۱۱۰ از آمار و اطلاعات ده‌سالهٔ ایستگاه سیاه‌بیشه و از کیلومتر ۱۱۰ تا چالوس از آمار و اطلاعات سی‌سالهٔ ایستگاه نوشهر استفاده شد. میانگین روزهای مه‌آلود در جدول ۱ نمایش داده شده است. با بررسی آمار و اطلاعات سه ایستگاه سیاه‌بیشه، کرج، و نوشهر (جدول ۱)، تعداد روزهای ثبت وقوع رخداد مه در ایستگاه سیاه‌بیشه به میزان تقریبی ۸۴۴ روز در آمار ده‌ساله ثبت شده است. دو ایستگاه نوشهر و کرج به‌ترتیب ۷۰ و ۵۰ روز مه‌آلود در بررسی آمار و اطلاعات موجود داشته‌اند. بنابراین، کیلومتر تقریبی ۴۳ تا ۱۱۰ کیلومتر از لحاظ پدیدهٔ وقوع مه با توجه به آمار ایستگاه سیاه‌بیشه دارای احتمال بیشترین فراوانی روزهای مه است.

جدول ۱. متوسط روزهای مه‌آلود در ایستگاه‌های سیاه‌بیشه، کرج، و نوشهر

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	مجموع روزهای مه
سیاه‌بیشه	۳۶٫۲۳	۵۱٫۳۰	۲۱۶۵	۸۴۴
کرج	۳۵٫۸۰	۵۰٫۹۵	۱۳۱۲	۴۶
نوشهر	۳۶٫۶۶	۵۱٫۴۶	−۳۰	۶۵

متوسط روزهای یخبندان

شاخص‌هایی که برای بررسی و تحلیل این پدیده می‌توان استفاده کرد زمان شروع و خاتمهٔ یخبندان و تعداد روزهای یخبندان است. در مورد شاخص‌های زمان شروع و خاتمهٔ یخبندان، کمالی و حبیبی نوخندان (۱۳۸۴) روابط رگرسیونی معنی‌داری ارائه کردند. در معادلات به‌دست‌آمده، اول شهریورماه به‌عنوان مبنا (روز اول) درنظر گرفته و مابقی روزها به‌ترتیب شمارش شده‌اند. در ارائهٔ این معادلات از تأثیر سال‌های کبیسه صرف‌نظر شده است. معادلات به شرح ذیل‌اند:

آغاز یخبندان $I(i) = 274 - 4.13 \times Y - 0.0438 \times H$

خاتمۀ یخبندان $I(e) = 17.4 + 4.45 \times Y - 0.0438 \times H$

که H ارتفاع بر حسب متر و Y عرض جغرافیایی است. زمان آغاز یخبندان به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۴۴ روز و در خاتمه ۳۰ روز و به ازای هر یک درجه افزایش عرض جغرافیایی، ۴ روز زودتر و در خاتمه ۵ روز به تعویق می‌افتد (بهیار و پیشداد، ۱۳۹۵). به‌علاوه، به علت اهمیت توزیع زمانی خطر رخداد یخبندان در شبکۀ جادۀ چالوس و برای تعیین مجموع حداکثر فراوانی آن از داده‌های اقلیمی ماهانۀ یخبندان ایستگاه‌های همدید مورد استفاده در دورۀ آماری مشترک ده‌ساله استفاده شده است. برای ارائۀ توزیع مکانی شدت خطرپذیری یخبندان در محور کرج– چالوس، با توجه به مجموع فراوانی وقوع آن در ایستگاه‌ها، دورۀ آماری ده‌ساله برای حفظ داده‌های ایستگاه سیاه‌بیشه، که شرایط کیلومتر ۴۳ تا ۱۱۰ را نمایش می‌دهد، تحلیل شد. با توجه به جدول ۲، طبقه‌بندی خطرپذیری یخبندان ارزیابی شده و نتایج پهنه‌بندی آن در منطقۀ مطالعاتی ارائه شده است. کیلومتر ۶۰ تا ۱۰۰ از ابتدای کرج (بخش میانی محور) دارای شدت خطرپذیری یخبندان بالاست. از ابتدای محور تا کیلومتر ۶۰ و محدودۀ تقریبی بین ولی‌آباد و مرزن‌آباد شدت خطرپذیری یخبندان متوسط است. در بخش‌های دیگر محور شدت یخبندان در کلاس کم و خیلی کم قرار دارد.

جدول ۲. طبقه‌بندی شدت خطرپذیری یخبندان در کشور بر اساس مجموع فراوانی وقوع یخبندان در دورۀ آماری ده‌ساله

خطرپذیری یخبندان	تغییرات مجموع فراوانی وقوع
خیلی کم	کمتر از ۲۵۰ روز
کم	۲۵۰–۴۰۰
متوسط	۴۰۰–۸۰۰
زیاد	۸۰۰–۱۰۰۰
خیلی زیاد	بیشتر از ۱۰۰۰ روز

بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر

شاخصی که برای بررسی و تحلیل بارندگی به‌عنوان آستانۀ بحران درنظر گرفته شده براساس فراوانی تعداد روزهای بارندگی با شدت بیش از ۳۰ میلی‌متر است. برای ارائۀ توزیع مکانی شدت خطرپذیری شدت بارش در محور کرج– چالوس، با توجه به مجموع فراوانی وقوع آن در ایستگاه‌ها، دورۀ آماری ده‌ساله تحلیل شد. با توجه به جدول ۳، طبقه‌بندی خطرپذیری شدت بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر ارزیابی شد. محور چالوس در استان مازندران از محدودۀ تقریبی روستای ولی‌آباد تا شهر چالوس کلاس‌های خطرپذیری بالا و بسیار بالا را شامل می‌شود و محور چالوس در استان البرز شرایط خطر بارش کمی را تجربه می‌کند.

جدول ۳. طبقه‌بندی شدت خطرپذیری شدت بارش بیش از ۳۰ میلی متر در دورۀ آماری ده‌ساله

شدت خطرپذیری	تغییرات مجموع فراوانی
خیلی کم	کمتر از ۱۰ روز
کم	۱۰–۳۰
متوسط	۳۰–۵۰
زیاد	۵۰–۱۰۰
خیلی زیاد	بیشتر از ۱۰۰ روز

دما

شاخص‌هایی که برای بررسی و تحلیل به‌عنوان آستانهٔ بحران دما درنظر گرفته شده است براساس فراوانی دمای کمتر از ۱۰- درجهٔ سلسیوس و فراوانی دمای بالاتر از ۳۵ درجهٔ سلسیوس است. تحلیل مورد نظر با توجه به دورهٔ آماری مشترک ده‌ساله و مجموع فراوانی دماهای آستانهٔ بحران در ایستگاه‌های کشور انجام شده است. سپس، توزیع مکانی آن در گسترهٔ کشور بر اساس مناطق پنجگانهٔ اقلیمی استخراج شده است. طبقه‌بندی شدت خطرپذیری دمای آستانهٔ کمینه و بیشینه بر اساس جدول ۴ انجام شده است. با توجه به دمای آستانهٔ کمینه بخش میانی محور چالوس، که دو استان البرز و مازندران را شامل می‌شود، در خطرپذیری متوسط قرار دارد. این قطعه از محور شامل محدودهٔ نساء، گچسر، سیاه‌بیشه، و هریجان می‌شود. سایر بخش‌های محور در کلاس خطر کم قرار دارند. همچنین، با توجه به دمای آستانهٔ بیشینه در محور چالوس شرایط خطرپذیری محور در استان البرز کم و در استان مازندران بسیار کم نتیجه شده است.

جدول ۴. طبقه‌بندی شدت خطرپذیری دمای آستانهٔ کمینه (کمتر از ۱۰- درجهٔ سلسیوس) و آستانهٔ بیشینه (بیشتر از ۳۵ درجهٔ سلسیوس) در محور چالوس

شدت خطرپذیری	مجموع فراوانی دمای بیشتر از ۳۵ درجهٔ سلسیوس	مجموع فراوانی دمای کمتر از ۱۰- درجهٔ سلسیوس
خیلی کم	کمتر از ۲۵۰ روز	کمتر از ۲۵ روز
کم	۲۵۰-۵۰۰	۲۵-۵۰
متوسط	۵۰۰-۱۰۰۰	۵۰-۱۰۰
زیاد	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۱۰۰-۲۰۰
خیلی زیاد	بیشتر از ۲۰۰۰ روز	بیشتر از ۲۰۰ روز

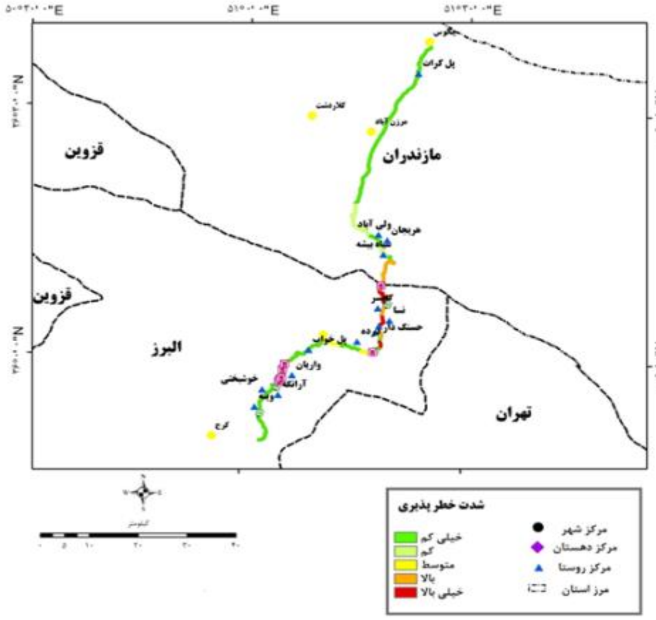
فراوانی سطح پوشش برف

در این بخش با استفاده از الگوریتم SNOWMAP مطالعات برف‌شناسی در سنجش از دور و استفاده از محصولات سنجندهٔ MODIS دو ماهوارهٔ آکوا و ترا با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر به بررسی فراوانی وقوع برف در محدودهٔ محور چالوس پرداخته شد. براساس تحلیل نتایج خروجی، میزان متوسط سطح پوشش برف مشاهداتی در محور چالوس در بهمن‌ماه به مقدار بیشینهٔ خود می رسد و روند تدریجی ذوب برف و کاهش سطح پوشش برف از انتهای بهمن مشاهده می‌شود. با بررسی متوسط فراوانی پوشش برف به تفکیک ماه‌های مورد نظر در این مطالعه، مشاهده می‌شود که بخش‌های میانی محور چالوس بیشترین فراوانی وقوع برف را تجربه می‌کند. با نزدیک‌شدن به ماه‌های گرم سال روند تدریجی ذوب برف مشاهده می‌شود.

ریزش بهمن

ریزش بهمن یکی از مخاطرات طبیعی مهم در محورهای ارتباطی مناطق کوهستانی است که به تخریب زیرساخت‌ها و تلفات جانی منجر می‌شود. بهمن، به‌عنوان رخدادی دینامیک، محلی، و ناگهانی که علاوه بر برف، خاک، قطعات سنگ، و درختان شکسته‌شده در مسیر را نیز حمل می‌کند تابعی از برهم‌کنش سه متغیر برف، آب‌وهوا، و توپوگرافی منطقه تعریف شده است. بنابراین، مطالعهٔ این معیار در مکان‌یابی ایستگاه هواشناسی جاده‌ای نیز در جهت افزایش ایمنی جاده و مسافران نیز ضروری است. با توجه به تحلیل معیارهایی مانند توپوگرافی و برف‌سنجی، پتانسیل بهمن در محور بررسی شد. محدودهٔ دهستان آسارا دارای خطرپذیری متوسطی است. بخش‌های میانی محور از محدودهٔ روستای گرماب تا پل

زنگوله شامل خطرپذیری بهمن در کلاس‌های بالا و خیلی بالاست. از محدودهٔ سیاه‌بیشه تا انتهای محور چالوس ریزش بهمن به کلاس کم نزول پیدا می‌کند. شکل ۲ پتانسیل ریزش بهمن در محور چالوس براساس مطالعهٔ حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۲. پتانسیل ریزش بهمن در محور چالوس

معیار ژئومورفولوژیکی

معیارهای مورد نظر در این بخش شامل مناطق متأثر از ریزش سنگ، نقاط زمین‌لغزش، و گسل‌های فعال منطقه است. ذکر این نکته لازم است که اطلاعات مرتبط با گسل‌های فعال و زمین‌لغزش از پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و ریزش سنگ از مطالعات داخلی در این محور استخراج شده است. حوادث ناشی عمدتاً بر اثر زمین‌لرزه و همچنین تحت تأثیر شرایط اقلیمی بر روی دامنه‌های مشرف به محور رخ می‌دهد. نیمهٔ شمالی محور کرج- چالوس تحت تأثیر بیشترین مخاطرات ناشی از زلزله قرار دارد. با توجه به بررسی میزان حساسیت سنگ‌شناسی منطقه حدود ۵۵ درصد محور در محدودهٔ حساسیت بالا قرار دارد. بیشترین تراکم ریزش سنگ در محدوده‌های هزارچم، هفت‌برادران در کیلومتر ۸۰–۱۱۰ کرج وجود دارد (برنا و واحدپور، ۱۳۹۰). عواملی مانند شیب‌های تند، سنگ‌های شکسته دارای درز و ترک بی‌شمار، برف‌گیربودن دامنه‌ها در زمستان و جریان‌های ناشی از ذوب برف در بهار باعث تنش برش در دامنه شده و دامنه را مجبور به حرکت مواد روی آن می‌کند. کیلومترهای ۷۴، ۷۸، ۸۲، ۸۴–۸۵، ۸۸–۸۹ محدوده‌های تحت تأثیر پدیدهٔ لغزش گزارش شده‌اند (برنا و واحدپور، ۱۳۹۰). از نظر تراکم نقاط، کیلومترهای ۷۸ تا چالوس در استان مازندران دارای بیشترین مقدارند.

معیار ترافیکی

در بررسی معیار محیطی دو عامل نقاط پُرتصادف و معیار محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اطلاعات مورد نیاز به صورت حجم متوسط روزانهٔ تردد خودروها در محور مورد مطالعه برای سال ۱۳۹۷ از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای دریافت شد. بیش از ۹۰ درصد تصادفات در محل تقاطعات و قوس رخ داده است. بر مبنای مطالعات فرجزاده

اصل و همکاران (۱۳۸۹) که به تحلیل فراوانی وقوع تصادفات در مقاطع یک کیلومتری محور چالوس و بررسی هم‌زمان رخدادهای اقلیمی و توپوگرافی پرداختند، در شرایط هوای آفتابی کیلومترهای ۲۰-۱۷ و ۴۱، در شرایط هوای ابری کیلومتر ۶۲، در هنگام ریزش باران کیلومترهای ۴۰ و ۷۰، در هوای برفی کیلومتر ۴۰، ۶۰ و ۶۲ و در هنگام هوای مه‌آلود کیلومترهای ۶۰، ۶۲ و ۶۵ حداکثر فراوانی تصادفات را دارند و از این لحاظ جزو نقاط خطرناک در طول محور چالوس محسوب می‌شوند. با توجه به توپوگرافی محور چالوس، هر چه محور از ارتفاعات بالا عبور می‌کند، به علت شرایط نامساعد جوی، میزان تصادفات در همان مقاطع افزایش می‌یابد. در بررسی مطالعات محیطی محور چالوس عوامل شیب، کاربری اراضی، فاصله از ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای موجود و گردنه‌های محور درنظر گرفته شده است. محور چالوس از مناطقی با شیب‌های مختلف عبور می‌کند.

معیار اقتصادی- امنیتی

همان‌طورکه اشاره شد، در مکان‌یابی معیارهای مرتبط با مسائل اقتصادی و امنیت در نگهداری ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای بسیار مهم است و ممکن است بر کلیهٔ معیارهای مورد بررسی در این مطالعه نیز اثرگذار باشد. لذا، علاوه بر جنبه‌های علمی، مکان‌یابی کاهش هزینه‌ها نیز بسیار مورد اهمیت است. در این بخش معیارهای نزدیکی به راهداری، جایگاه‌های سوخت، دوربین‌های نظارتی، روستاهای اطراف، و مجتمع‌های بین‌راهی محور برای دسترسی کارشناسان به ایستگاه‌ها مورد نظر قرار گرفته است. تجزیه‌وتحلیل Location-Allocation با استفاده از این معیارها سعی می‌کند هزینه‌های دسترسی به ایستگاه‌ها و تعمیر و نگهداری را کاهش دهد.

ایستگاه‌های پیشنهادی هواشناسی جاده‌ای محلی در محور چالوس

نتایج خروجی روش AHP در محور چالوس

مقدار اهمیت هر یک از معیارها و زیرمعیارها با توجه به مطالعات کتابخانه‌ای، دستورالعمل‌های نصب ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای، و آرای کارشناسان تعیین شد (ژو و همکاران، ۲۰۱۵). ماتریس مقایسهٔ زوجی بین معیارها در جدول ۵ نمایش داده شده است. ضریب عدم قطعیت نیز برابر ۰٫۰۶ گردید که از میزان تعریف‌شدهٔ ۰٫۱ کمتر است و با توجه به این نتیجه روند وزن‌دهی مورد تأیید است.

جدول ۵. ماتریس مقایسهٔ زوجی بین متغیرها در روش AHP

معیارها	اقلیمی	محیطی	ژئورموفولوژی	ترافیکی
اقلیمی	۱	۵	۷	۹
محیطی		۱	۳	۵
ژئورموفولوژی			۱	۳
ترافیکی				۱

وزن نهایی معیارها

در جدول ۶ وزن نهایی معیارهای اقلیمی، ژئومورفولوژی، ترافیکی، و اقتصادی- امنیتی و زیرمعیارهای مورد نظر در محور چالوس قرار داده شده است که براساس ماتریس مقایسهٔ زوجی بین متغیرها در روش AHP به‌دست آمده است.

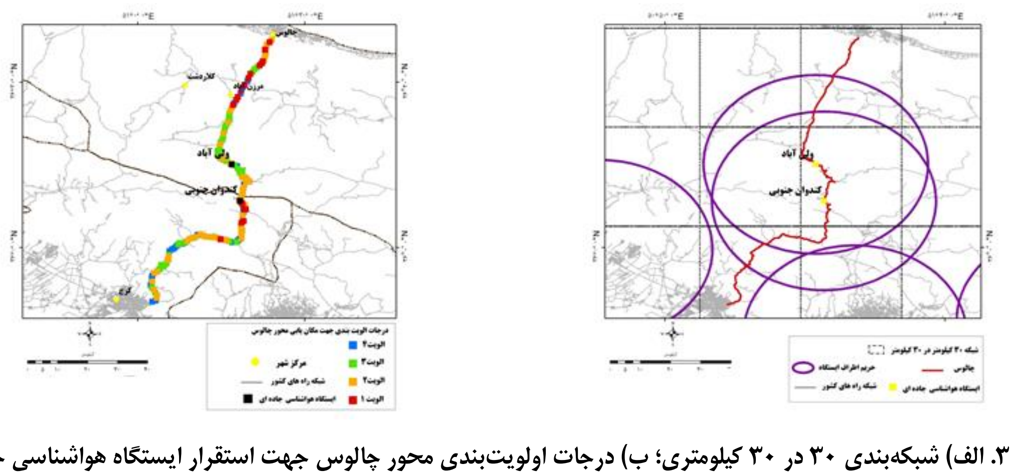
جدول ۶. وزن زیرمعیارهای اقلیمی، ژئومورفولوژی، ترافیکی، و اقتصادی- امنیتی

ردیف	زیرمعیار	وزن
۱	فراوانی بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر	۰/۳۵۸
۲	یخبندان	۰/۲۳۲
۳	خطر فراوانی دمای آستانهٔ کمینه	۰/۰۹۳
۴	خطر فراوانی دمای بیشینه	۰/۰۱۹
۵	فراوانی وقوع برف	۰/۱۲۴
۶	مه	۰/۰۴۴
۷	بهمن	۰/۱۲۹
۱	شیب	۰/۱۵۲
۲	کاربری اراضی	۰/۲۰۵
۳	فاصله از ایستگاه هواشناسی جاده‌ای	۰/۲۷
۴	فاصله از گردنه‌ها	۰/۳۷۳
۱	ریزش سنگ	۰/۷۸۵
۲	زمین‌لغزش	۰/۱۴۹
۳	گسل فعال	۰/۰۶۶
۱	ترافیک	۱

اولویت‌بندی قطعات محور چالوس

با توجه به استانداردهای جهانی و مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است، فواصل بین ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای بین ۳۰ تا ۵۰ کیلومتر مربع متغیر است. هر ایستگاه هواشناسی در نگاهی کلی منطقه‌ای در حدود ۳۰ کیلومتر را می‌تواند پوشش دهد. در شکل ۲ شبکه‌بندی (۳۰ * ۳۰ کیلومتر) در محدودهٔ محور چالوس نمایش داده شده است. حریم ۳۰ کیلومتری نیز در اطراف ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای موجود نیز برای بررسی اثر ایستگاه بر محورهای ارتباطاتی در شبکهٔ ۳۰ * ۳۰ کیلومتری درنظر گرفته شده است. با توجه به شکل ۲، مشاهده می‌شود که تراکم ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای در شبکه‌های ۳۰ در ۳۰ کیلومتری بسیار کم است. ذکر این نکته لازم است که معمولاً در هر شبکه به حداقل یک ایستگاه نیاز است. البته، این مسئله نیز باید درنظر گرفته شود که چنانچه تراکم شبکه‌های مجاور مناسب باشد، احداث ایستگاه جدید در شبکه‌های فاقد ایستگاه ضرورت ندارد. در شکل ۳ نقشهٔ اولویت‌بندی محور چالوس برای استقرار ایستگاه‌های جدید استخراج شد. با توجه به شکل ۲، بخش‌های میانی و انتهایی محور در این تحلیل نیازمند ایستگاه است.

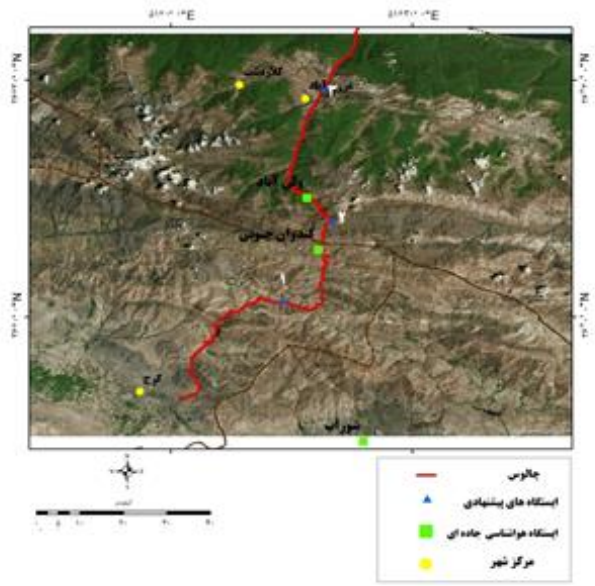
الف) ب)



شکل ۳. الف) شبکه‌بندی ۳۰ در ۳۰ کیلومتری؛ ب) درجات اولویت‌بندی محور چالوس جهت استقرار ایستگاه هواشناسی جاده‌ای

ایستگاه‌های پیشنهادی در محور چالوس

پس از اولویت‌بندی محور از نظر نیاز به ایستگاه‌های جدید، در مرحلهٔ آخر با تحلیل Location-Allocation و بررسی فواصل بهینه‌محور از راهداری، جایگاه‌های سوخت، دوربین‌های نظارتی، و روستاهای اطراف‌محور ایستگاه‌های نهایی در قطعات اولویت‌دار محور معرفی می‌شوند. ذکر این نکته لازم است که با توجه به شرایط منطقهٔ معرفی‌شده قابلیت تغییر ایستگاه در محدودهٔ ۱ تا ۵ کیلومتری نقطهٔ معرفی‌شده وجود دارد. در شکل ۴ موقعیت ایستگاه‌های پیشنهادی و ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای لحاظ شده است. در جدول ۷ موقعیت مکانی و وزن نهایی ایستگاه‌ها و اولویت استخراجی حاصل از تحلیل و بررسی در طی پژوهش نیز نمایش داده شده است.



شکل ۴. درجات اولویت‌بندی محور چالوس برای استقرار ایستگاه هواشناسی جاده‌ای

جدول ۷. مشخصات ایستگاه‌های پیشنهادی

اولویت	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	محدودهٔ تقریبی
۱	۳۶٫۰۳۱	۵۱٫۲۳۱	کیاسر
۲	۳۶٫۲۰۰۵	۵۱٫۳۳۳	خرگوش‌دره و ولی‌آباد
۳	۳۶٫۴۸	۵۱٫۳۱۶۱	مرزن‌آباد

محور هراز

نتایج خروجی روش AHP در محور هراز

وزن نهایی معیارها

در جدول ۸ وزن نهایی معیارهای اقلیمی، ژئومورفولوژی، ترافیکی، و اقتصادی- امنیتی و زیرمعیارهای مورد نظر در محور هراز قرار داده شده است.

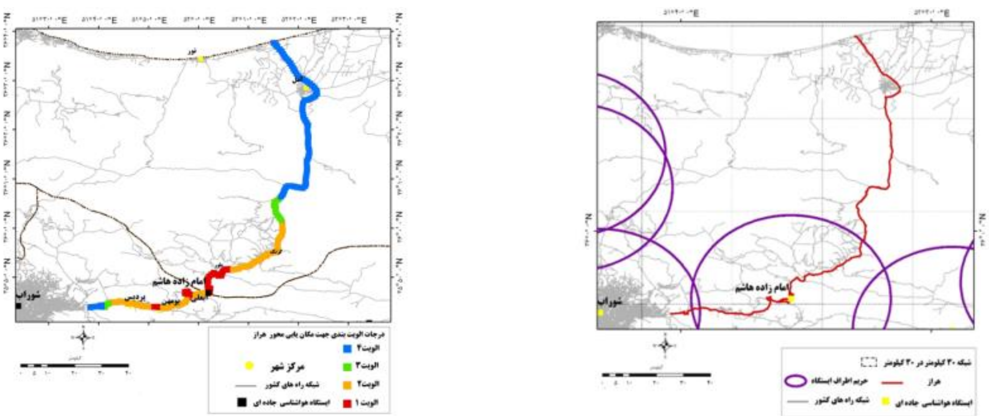
جدول ۸. ماتریس مقایسهٔ زوجی بین متغیرها در روش AHP معیار اقلیمی، ژئومورفولوژی، ترافیکی، و اقتصادی- امنیتی

ردیف	زیر معیار	وزن
۱	فراوانی بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر	۰٫۱۴۱
۲	یخبندان	۰٫۳۶۳
۳	خطر فراوانی دمای آستانهٔ کمینه	۰٫۲۳۹
۴	خطر فراوانی دمای بیشینه	۰٫۰۲۳
۵	فراوانی وقوع برف	۰٫۱۲۹
۶	مه	۰٫۰۳۸
۷	بهمن	۰٫۰۶۷
۱	شیب	۰٫۱۵۲
۲	کاربری اراضی	۰٫۲۰۵
۳	فاصله از ایستگاه هواشناسی جاده‌ای	۰٫۲۷
۴	فاصله از گردنه‌ها	۰٫۳۷۳
۱	ریزش سنگ	۰٫۷۸۵
۲	زمین‌لغزش	۰٫۱۴۹
۳	گسل فعال	۰٫۰۶۶
۱	ترافیک	۱

اولویت‌بندی قطعات محور هراز

در این بخش نیز مشابه اولویت‌بندی قطعات محور چالوس برای محور هراز استفاده شده است. نقشهٔ اولویت‌بندی محور هراز جهت استقرار ایستگاه‌های جدید را نمایش می‌دهد.

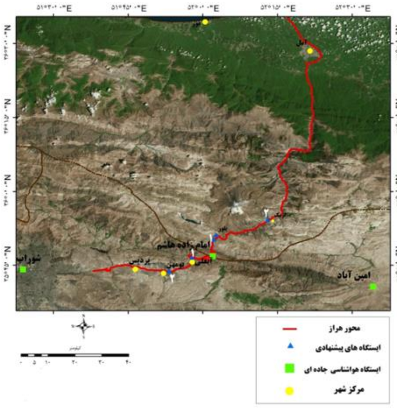
الف) ب)



شکل ۵. الف) شبکه‌بندی ۳۰ در ۳۰ کیلومتری؛ ب) درجات اولویت‌بندی محور هراز جهت استقرار ایستگاه هواشناسی جاده‌ای

ایستگاه‌های پیشنهادی در محور هراز

در این بند با روش مشابه در محور چالوس، ایستگاه‌های پیشنهادی در محور هراز معرفی شده است. در شکل ۶ موقعیت ایستگاه‌های پیشنهادی و ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای لحاظ شده است. در جدول ۹ موقعیت مکانی و وزن نهایی ایستگاه‌ها و اولویت استخراجی حاصل از تحلیل و بررسی در طی پژوهش نیز نمایش داده شده است.



شکل ۶. درجات اولویت‌بندی محور هراز جهت استقرار ایستگاه هواشناسی جاده‌ای

جدول ۹. مشخصات ایستگاه‌های پیشنهادی

الویت	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	محدودهٔ تقریبی
۱	۳۵/۸۳۶	۵۲/۰۳۶	پلور
۱	۳۵/۷۷۴	۵۱/۹۶۴	مبارک‌آباد- آبعلی
۲	۳۵/۷۲۸	۵۱/۸۸۸	راهداری (حدفاصل بومهن- رودهن)
۲	۳۵/۹۰۴	۵۲/۲۱۷	رینه

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت توسعهٔ بهینه از شبکهٔ هواشناسی جاده‌ای که سبب کاهش خسارات و تلفات جاده‌ای و تخریب محیط اطراف و صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود، مکان‌یابی بهینه در محور چالوس و هراز بررسی شد. با توجه به وضعیت شبکه‌بندی ۳۰ * ۳۰ کیلومتری از محدودهٔ مطالعاتی و اثر ایستگاه‌های فعلی هواشناسی جاده‌ای، تراکم پایین تعداد ایستگاه‌ها در شبکه و نیاز محور به ایستگاه‌های محلی و منطقه‌ای کاملاً مشهود است. مطالعات داخلی بسیار محدودی در این زمینه در کشور انجام شده است. هدف اصلی از این پژوهش نیز شناسایی شاخص‌ها و مؤلفه‌های مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای در محورهای کوهستانی البرز (چالوس و هراز) و ارائهٔ فهرستی از اولویت ایستگاه‌های پیشنهادی در محدودهٔ مطالعاتی است. با استفاده از منابع کتابخانه‌ای، لایه‌های اطلاعاتی، و نقشه‌های موجود، نخست معیارهای محیطی، توپوگرافی، ترافیکی، اقتصادی، اقلیمی، و ژئومورفولوژی دسته‌بندی و زیرمعیارهای هر بخش تهیه و معرفی شد. سپس، با استفاده از دستورالعمل‌ها و منابع موجود در دو بخش آنالیز محدودیت و وزن‌دهی به روش AHP، قطعات محور از نظر نیاز به ایستگاه اولویت‌بندی شد. سپس، با استفاده از تحلیل Location-Allocation و با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی امکاناتی مانند راهداری، جایگاه سوخت، و دوربین‌های نظارتی و ... فهرست نهایی ایستگاه‌های مورد نیاز در محور چالوس و هراز تعیین شد. حیدری و همکاران (۱۳۹۵) نیز از روش مشابه برای مکان‌یابی ایستگاه هواشناسی شهری در کلان‌شهر مشهد استفاده کردند و توانستند نتایج مطلوبی جهت جانمایی ایستگاه‌ها به‌دست آورند.

با توجه به بررسی معیارهای مخاطرات اقلیمی، ژئومورفولوژیکی، ترافیکی، و اقتصادی- امنیتی شرایط جادهٔ چالوس از نظر شدت خطرپذیری بررسی شد و نتایج نشان داد که کیلومتر ۶۰ تا ۱۰۰ از ابتدای کرج (بخش میانی محور) دارای شدت خطرپذیری بالای یخبندان است و از ابتدای محور تا کیلومتر ۶۰ و محدودهٔ تقریبی بین ولی‌آباد و مرزن‌آباد شدت

خطرپذیری یخبندان متوسط است. نتیجۀ مطالعۀ حاضر با مقالۀ عزیزی و حبیبی نوخندان (۱۳۸۴) که بیان می‌کند در جادۀ هراز با شروع دورۀ سرد در مناطق کوهستانی احتمال وقوع یخبندان و در مناطق ساحلی احتمال لغزندگی بسیار افزایش می‌یابد مشابه است.

کیلومتر تقریبی ۴۳ تا ۱۱۰ کیلومتر از لحاظ پدیدۀ وقوع مه دارای احتمال بیشترین فراوانی روزهای مه است. براساس بارش بیشتر از ۳۰ میلی‌متر در محور چالوس در استان مازندران از محدودۀ تقریبی روستای ولی‌آباد تا شهر چالوس کلاس‌های خطرپذیری بالا و بسیار بالا را شامل می‌شود و محور چالوس در استان البرز شرایط خطر بارش کمی را تجربه می‌کند. با توجه به دمای آستانۀ بیشینه در محور چالوس شرایط خطرپذیری محور در استان البرز کم و در استان مازندران بسیار کم نتیجه گردیده است. دمای آستانۀ کمینۀ بخش میانی محور چالوس، که دو استان البرز و مازندران را شامل می‌شود، در خطرپذیری متوسط قرار دارد. با بررسی متوسط فراوانی پوشش برف به تفکیک ماه‌های مورد نظر، بخش‌های میانی محور چالوس بیشترین فراوانی وقوع برف را تجربه می‌کند که با نزدیک‌شدن به ماه‌های گرم سال روند تدریجی ذوب برف مشاهده می‌شود. از نظر ریزش بهمن، محدودۀ دهستان آسارا دارای خطرپذیری متوسطی است. بخش‌های میانی محور از محدودۀ روستای گرماب تا پل زنگوله شامل خطرپذیری بهمن در کلاس‌های بالا و خیلی بالاست. از محدودۀ سیاه‌بیشه تا انتهای محور چالوس ریزش بهمن به کلاس کم نزول پیدا می‌کند. با استفاده از ماتریس مقایسۀ زوجی بین متغیرها در روش AHP و همچنین وزن‌دهی به زیرمعیارهای مورد بررسی و درنظرگرفتن حریم ۳۰ کیلومتری در اطراف ایستگاه‌های هواشناسی جاده‌ای موجود، ایستگاه‌های پیشنهادی در محور چالوس در محدودۀ کیاسر، مرزن‌آباد، خرگوش‌دره، و ولی‌آباد قرار دارند.

مطالعات فوق برای محور هراز نیز انجام شده و ایستگاه‌های جاده‌ای در محدودۀ پلور، مبارک‌آباد- آبعلی، راهداری حدفاصل رودهن- بومهن، و رینه پیشنهاد شد. طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های جاده‌ای پیشنهادی در جدول ۹ ارائه شده است.

منابع

افندی‌زاده، ش.؛ توکلی کاشانی، ع. و تقی‌زاده، ی. (۱۳۹۶). شناسایی مکان‌های پُرتصادف جاده‌ای با استفاده از روش تلفیقی تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP/DEA)، فصل‌نامهٔ علمی پژوهش‌نامهٔ حمل و نقل، ۱۴(۴): ۳۳-۴۵.

باقدم، ع.؛ فرجزاده، م. و شایان، س. (۱۳۸۴). ارزیابی ایمنی جاده‌ای با رویکرد مخاطرات محیطی: مسیر سنندج- مریوان با استفاده از GIS، مجلهٔ مدرس علوم انسانی، ۹: ۱-۱۶.

برنا، ر. و واحدپور، غ. (۱۳۹۰). بررسی نقش مدیریت مخاطرات طبیعی در کنترل سوانح و تصادفات جاده‌ای مورد مطالعه: محور کرج- چالوس، فصل‌نامهٔ برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۳: ۸۱-۹۲.

بهیار، م. و پیشداد، ا. (۱۳۹۵). تحلیل فضایی و پهنه‌بندی شدت درجهٔ خطرپذیری رخداد یخبندان در شبکهٔ جاده‌ای کشور با استفاده از GIS، مجلهٔ علمی و ترویجی نیوار، ۹۲: ۲۳-۳۲.

جعفربیگلو، م. و محمدی، حسین. (۱۳۸۴). شرایط آب و هوایی مؤثر بر ایمنی حمل و نقل جاده‌ای در محور کرج- چالوس، دانشگاه تهران، دانشکدهٔ جغرافیا، گروه جغرافیای طبیعی، رشتهٔ جغرافیای طبیعی.

حبیبی نوخندان، م. (۱۳۷۸). مطالعهٔ پدیده‌های اقلیمی مؤثر بر تردد و تصادفات جاده‌های کوهستانی و ارائهٔ راهکارهای اجرایی مناسب، مطالعهٔ موردی: محور هراز، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه آزاد تهران.

حیدری، ن.؛ دوستان، ر. و حبیبی نوخندان، م. (۱۳۹۵). مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی شهری در کلان‌شهر مشهد، نشریهٔ پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲۷: ۵۹-۷۵.

زبردست، الف. (۱۳۸۰). کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، نشریهٔ هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، ۲(۱۰): ۱۳-۲۱.

زیاری، ک. الف. (۱۳۸۸). اصول و روش‌های برنامه‌ریزی منطقه‌ای، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

سیاره، ج. و خسروانی، ا. (۱۳۹۸). شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر جذب خطوط کشتیرانی منظم کانتینری به بنادر (موردکاوی: بندر شهید رجایی)، فصل‌نامهٔ علمی پژوهش‌نامهٔ حمل و نقل، ۱۶(۱): ۱۰۹-۱۲۴.

عباس‌پور مرزبالی، ک.؛ باباگلی، ر.؛ مجردی، ب. و عاملی، ع. (۱۳۹۷). مکان‌یابی پارکینگ‌های شهری با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و تحلیل سلسله‌مراتبی (منطقهٔ مورد مطالعه: بابلسر)، فصل‌نامهٔ علمی پژوهش‌نامهٔ حمل و نقل، ۱۵(۱): ۸۷-۱۰۴.

علیجانی، ب. و حبیبی نوخندان، م. (۱۳۷۸). مطالعهٔ اثر نوسانات اقلیمی بر تردد و تصادفات جادهٔ هراز، دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران: ۲۷ آبان.

عزیزی، ق. و حبیبی نوخندان، م. (۱۳۸۴). مطالعهٔ توزیع زمانی و مکانی یخبندان و لغزندگی در جاده‌های هراز و فیروزکوه با استفاده از تکنین GIS، پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۵۱.

فرجزاده اصل، م.؛ قلی‌زاده، م. و ادبی فیروزجایی، ع. (۱۳۸۹). تحلیل فضایی تصادفات جاده‌ای با رویکرد مخاطرات اقلیمی، مطالعهٔ موردی: محور کرج- چالوس، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۳: ۳۷-۵۲.

کدخدایی، م. و شاد، ر. (۱۳۹۸). اولویت‌بندی سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف سوخت در کلان‌شهرهای توریستی و مذهبی (مطالعهٔ موردی: شهر مشهد)، فصل‌نامهٔ علمی پژوهش‌نامهٔ حمل و نقل، انتشار آنلاین از تاریخ ۹ شهریور ۱۳۹۸.

کمالی، غ. و حبیبی نوخندان، م. (۱۳۸۴). بررسی توزیع مکانی و زمانی یخ‌بندان در ایران و نقش آن در حمل و نقل جاده‌ای، مجلهٔ علمی پژوهش‌نامهٔ حمل و نقل، ۲(۲): ۱۲۷–۱۳۸.

معینی‌الدینی، ت.؛ عبدی، ع. و سرکار، ع. (۱۳۹۹). اولویت‌بندی المان‌های فرودگاه امام خمینی (ره) جهت ارتقا به فرودگاه کلاس–جهانی، فصل‌نامهٔ علمی پژوهش‌نامهٔ حمل و نقل، انتشار آنلاین از تاریخ ۲۲ اردیبهشت ۱۳۹۸.

Alijani, B. and Nokhandan, M. (1999). Study of the effect of climate fluctuations on traffic and accidents on Haraz road, Second Regional Conference on Climate Change, Tehran: 27 Aban.

Axelson, L. (2004). Development and Use of the Swedish Road Weather Information System. Report on Swedish National Road Administration SE-781 87 Borlänge, SWEDEN.

Azizi, Gh. and Habibi Nokhandan, M. (2005). Study of temporal and spatial distribution of glaciation and slippery roads in Haraz and Firoozkooh roads using GIS technique, Physical Geography Research, 51.

Afandizadeh, Sh.; Tavakoli Kashani, A. and Taghizadeh, Y. (2018). An AHP/DEA Methodology for Black Spot Identification, Journal of Transportation Research, 4:33-45.

Abbaspour Marzbali, K.; Babagoli, R.; Mojaradi, B. and Ameli, A. (2018). Location of urban parking lots using spatial information system and hierarchical analysis (Study area: Babolsar), Journal of transportation research, 15(1): 87-104.

Baghdam, A.; Farajzade, M. and Shayan, S. (2005). Road Safety Assessment With Environmental Hazard Approach Using GIS, Case Study: Sanandaj – Marivan. The Journal of Spatial Planning, 9: 1-16.

Borna, R. and Vagedpour, Gh. (2011). Investigating the role of natural hazard management in the control of road accidents studied: Karaj-Chalous axis, Quarterly scientific, 3: 81-92.

Behyar, M. and Pishdad, A. (2016). Spatial analysis and zoning of the degree of risk of glacial events in the country's road network using GIS, Nivar, 92: 23-32.

Dadashi Khaneghah, Sepide (2008). Appointment of Snow Cover Using Image Processing Techniques, A Thesis for the Degree of Master of Science, Faculty of Earth Science, University of Shahid Beheshti.

Daskin, M. (2008). What you should know about location modeling, Naval Research Logistics, 55: 283-294.

Eriksson, M. and Lindqvist, S. (2002). Regional influence on road slipperiness during winter precipitation event, second international Road weather conference, Sapporo, Japan.

Farajzade Asl, M.; Gholizade, M. and Adabi Firoozjayi, A. (2010). Spatial analysis of road accidents with a climate hazard approach, Case study: Karaj-Chalous axis, Physical Geography Research, 73: 37-52.

Gustavsson, T. and Bogren, J. (1990). Road slipperiness during warm air advection, Meteorological Magezine, 119: 267-270.

Gustavsson, T. and Bogrenm, J. (2006). Development of RWIS - a new approach using accident-data. XIII International Road Weather Conference, Polytechnic of Turin, ITALY.

Jafar Beiglo, M. and Mohamadi, H. (2005). Climatic conditions affecting road transport safety on Karaj-Chalous axis, Tehran university, Faculty of Geography, Department of Natural Geography, Department of Natural Geography.

Hall, D.K.; Tait, A.B.; Riggs, G.A.; Salomonson, J.; Chien, Y.L. and Rew, G. K. (1998). Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow-, Lake Ice- and Sea Ice-Mapping Algorithms, MODIS Algorithm Theoretical Basis Document Number ATBD-MOD-10, NASA Goddard Space Flight Center.

Habibi Nokhandan, M. (1999). Study of climatic phenomena affecting traffic and accidents on mountain roads and providing appropriate executive solutions, Case study: Haraz axis, Master Thesis, Faculty of Humanities, Azad University of Tehran.

Heydari, N.; Doostan, R. and Habibi Nokhandan, M. (2016). Location of urban meteorological stations in the metropolis of Mashhad, Journal of climate research, 27: 59-75.

Kamali, Gh. and Nokhandan, M. (2005). Investigation of spatial and temporal distribution of ice in Iran and its role in road transport, Journal of transportation research, 2(2): 127-138.

Kadkhodayi, M. and Shad, R. (2019). Prioritization of fuel saving policies in tourist and religious metropolises (Case study: Mashhad), Journal of transportation research.

Lashnizand, M.; Poortoolabi, A. and Noorollahi, D. (2013). Location of Synoptic Stations by Means of Geographical Information System (GIS) Case Study: Khorramabad Basin in South West Iran. World Appl. Sci. J., 22 (8): 1195-1199.

Morjani, E.; Ebener, S.; Boos, J. and Abdel Ghaffar, E. (2007). Modelling the spatial distribution of five natural hazards in the context of the WHO/EMRO Atlas of Disaster Risk as a step towards the reduction of the health impact related to disasters. Int J Health Geogr. Published on line, www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17343733.

Moeenodini, T.; Abdi, A. and Sarkar, A. (2020). Prioritization of elements of Imam Khomeini Airport to be upgraded to a world-class airport, Journal of transportation research.

Petersen, C. and Sass, B.H. (2005). Improving of road weather forecasting by using high resolution satellite data. Extended abstracts of the World Weather Research Programme International Symposium on Nowcasting and Very Short Range Forecasting (WSN05), 5-9 September 2005, Toulouse, France, No. 6. 28, 12 p.

Stethem, C.; Schaerer, P. and Jamieson, B. (1993). Five mountain parks highway avalanche study, B.C. Ministry of Transportation & Highways, Southwestern Colorado.

Saarikiv, P.; Sipilä, M. and Nurmi, P. (2006). Project ColdSpots: A new way to improve winter road condition forecasts. XIII International Road Weather Conference, Polytechnic of Turin, ITALY.

Stoltmann, A. (2016). Application of AHP Method for Comparing the Criteria Used in Locating Wind Farms, Acta Energetica, 3(28): 144-149.

Sayareh, J. and Khosravani, A. (2019). Identifying and prioritizing the factors affecting the absorption of regular container shipping lines to ports (Case study: Shahid Rajaei Port), Journal of transportation research, 16(1): 109-124.

Zebardast, A. (2001). Application of hierarchical analysis process in urban and regional planning, Honarhaye ziba, 2(10): 13-21.

Zayari, K.A. (2009). Principles and methods of regional planning, Tehran: University of Tehran Press.

Zhao, L.; Chien, S.I.; Liu, X. and Liu, W. (2015). Planning a road weather information system with GIS. Journal of Modern Transportation, 23(3): 176-188.